SANS CLASSIFICATION

DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT
CENTRE DE RECHERCHES POUR LA DÉFENSE
VALCARTIER

DREV – TR – 1999-216

Unlimited Distribution / Distribution illimitée

CONCEPTION D'UN MODÈLE SPATIAL QUALITATIF ADAPTÉ AUX APPLICATIONS DE COMMANDEMENT ET CONTRÔLE

par

Driss Kettani et Denis Gouin

November / novembre 2000

Approved by / approuvé par

Éloi Bossé

Section Head / chef de section

27 novembre 2000

Date

UNCLASSIFIED

ABSTRACT

This document describes a novel spatial model, which has been designed to better reflect human reasoning and to resolve certain problems encountered by commercial Geographical Information Systems. Many command and control military applications can then be enhanced and improved using this new model. The proposed model is based on the notion of influence area, which corresponds to a portion of space that people mentally build around spatial objects to take into account the importance and the salience of these objects in the environment. It qualitatively defines the topology and spatial relationships, including distance, orientation and neighborhood. Moreover, this model allows interacting with the user using a communication form that mimics human communication. This document also describes how the model was implemented, using the QSS (Qualitative Spatial System) prototype, to search for and describe itineraries. Finally, a review is made of command and control military applications that could benefit from this model.

RÉSUMÉ

Ce document décrit un nouveau modèle spatial qui a été élaboré pour mieux refléter le raisonnement de l'être humain et pour résoudre certains problèmes rencontrés par les systèmes d'information géographiques contemporains. Plusieurs applications militaires en commandement et contrôle peuvent ainsi améliorer leur capacité d'analyse spatiale en utilisant le nouveau modèle. Ce modèle est basé sur la notion de zone d'influence que l'être humain construit mentalement et systématiquement autour des objets qu'il perçoit dans son environnement afin de tenir compte des objets les plus saillants et de leur importance relative. Le modèle proposé définit qualitativement les relations topologiques et spatiales, incluant la distance, l'orientation et le voisinage. De plus, il permet à l'usager d'interagir avec le système sous une forme de communication s'inspirant de celle de l'être humain. Ce document décrit aussi une mise en oeuvre du modèle proposé dans le cadre de la recherche et de la description d'itinéraires à l'aide du prototype QSS (Qualitative Spatial System). Finalement, il passe en revue certaines applications militaires de commandement et contrôle qui pourraient tirer avantage de ce modèle.

102-00990/

AVERTISSEMENT

Les renseignements ci-dessus sont la propriété de Sa Majesté et sont communiqués au destinataire, étant entendu qu'ils seront utilisés uniquement à des fins d'information et d'évaluation. Toute utilisation à des fins commerciales, notamment à des fins de fabrication, est interdite. La diffusion de la présente publication ou de son contenu à des tiers est interdite sans le consentement écrit préalable du MDN du Canada.

© Sa Majesté la reine, représentée par le ministre de la Défense nationale, 2000

TABLE DES MATIÈRES

ABSTRACT / RÉSUMÉ i
FICHE DE SYNTHÈSE v
LISTE DES ACRONYMES vii
1.0 INTRODUCTION 1
2.0 LES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE 2
3.0 CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE SPATIAL PROPOSÉ 4
3.1. Définition qualitative de la topologie 5
3.2. Définition qualitative de la distance 7
3.3. Définition qualitative de l'orientation 8
3.4. Qualification de la position d'un objet spatial dans son environnement 9
4.0 MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE PROPOSÉ 13
4.1. RECHERCHE D'ITINÉRAIRE 13
4.2. DESCRIPTION D'ITINÉRAIRES 17
5.0 DESIGN ET IMPLANTATION DU SYSTÈME QSS 22
5.1. Architecture fonctionnelle du système QSS 22
5.2. Implantation du système QSS 25
6.0 APPLICATION DU MODÈLE PROPOSÉ DANS UN CONTEXTE MILITAIRE 28
6.1 Analyse de terrain et compréhension de la situation 30
6.2 Opérations urbaines 33
6.3 Gestion de crises environnementales 34
6.4. Recherche et sauvetage 35
7.0 CONCLUSION 37
8.0 RÉFÉRENCES 38
FIGURES 1 À 11
TABLEAUX I À III

FICHE DE SYNTHÈSE

Les systèmes d'information géographique (SIG) connaissent une croissance fulgurante depuis ces dernières années tant du point de vue du nombre d'utilisateurs que de la variété des applications exploitant l'information spatiale ou géospatiale. Plus que de simples outils de visualisation de l'information spatiale, les SIG démontrent aujourd'hui leur capacité d'analyse, permettant par exemple d'identifier le meilleur chemin entre deux points ou de faire des projections d'un phénomène, tel qu'une inondation en se basant sur sa répartition spatiale et son évolution temporelle.

Cependant, la capacité d'analyse des SIG commerciaux actuels demeure limitée lorsqu'on la compare au raisonnement cognitif humain. En effet, l'être humain peut discriminer rapidement les objets importants d'une scène (par exemple, montagnes, routes, rivières) et les mettre en relation les uns avec les autres. Le concept de topologie (relation spatiale entre les objets) appuyé par les SIG est une solution intéressante mais incomplète.

Ce document élabore un modèle spatial qualitatif qui ajoute à la topologie les notions de zone d'influence et de voisinage entre les objets et de l'importance) de ces objets. Comme le modèle reflète mieux le processus cognitif de l'être humain, la communication avec l'usager peut se faire sous forme de langage naturel. Le document définit le nouveau modèle spatial proposé, explique sa mise en œuvre dans le cadre de la recherche et la description d'itinéraires et décrit le prototype qui a été réalisé.

Au point de vue militaire, plusieurs applications de commandement et contrôle pourraient tirer profit de ce modèle spatial qualitatif. Par exemple, la recherche d'itinéraires pour les convois, la suggestion des approches possibles des forces ennemies, l'identification et la priorisation des zones de recherche lors de missions de recherche et sauvetage.

Dans le cadre des travaux au CRDV, on est à mettre au point le prototype d'une application de commandement et contrôle basé sur le modèle spatial qualitatif. Cette application vise à représenter le processus cognitif d'appréciation ou d'estimation du terrain

VI

LISTE DES ACRONYMES

ADI	Agent de Description d'Itinéraire
AGPS	Agent de Gestion des Primitives Spatiales
AGTB	Agent de Gestion de la Topologie de Base
AIA	Agent d'Interaction et d'Affichage
ARI	Agent de Recherche d'Itinéraire
BE	Bord Extérieur
BI	Bord Intérieur
CC	Commandement et Contrôle
CG	Carte Géographique
CI	Chemin Intermédiaire
DI	Description d'Itinéraire
dp	degré de proximité
FC	Forces canadiennes
ICI	Intersections avec Chemins Intermédiaires
INT	Intersection
MOA	Matrice d'Orientation et d'Adjacence
O	Objet
OR	Objets Repères
ORP	Objets Repères Proches
PV	Piéton Virtuel
QSS	Qualitative Spatial System
SIG	Système d'Information Géographique
ZO	Zone d'Orientation
ZV	Zone de Voisinage

1.0 INTRODUCTION

Les systèmes d'information géographique (SIG) connaissent depuis ces dernières années une évolution fulgurante aussi bien au niveau de la consommation finale (nombre croissant d'utilisateurs, besoin diversifié et mieux exprimé, curiosité et intérêt apparents, etc.) qu'au niveau du développement (performance, fonctionnalités, interfaces, composants, etc.). En effet, conscients de l'importance et du potentiel de l'intégration de la référence spatiale dans les processus d'acquisition des données et dans la conception d'une solution globale, de plus en plus de personnes et d'organisations investissent dans les SIG et les utilisent (les développent) dans leurs systèmes d'aide à la décision (Réf. 1).

Dans le domaine militaire, et depuis le début des années soixante-dix, les applications des SIG se multiplient et deviennent partie intégrante des systèmes d'information militaires. Que ce soit pour numériser et explorer des cartes géographiques, ou pour suivre l'évolution d'un phénomène dynamique dans une région donnée, ou encore pour une meilleure affectation des ressources sur le territoire d'engagement, le SIG devient un outil indispensable pour l'aide à l'évaluation de la situation et dans la prise des décisions tactiques et stratégiques (Réf. 2).

Dans ce rapport, nous ne nous intéressons pas spécifiquement aux SIG mais plutôt au modèle spatial sur lequel iis sont bâtis. Nous présentons un nouveau modèle spatial que nous avons élaboré pour rendre les SIG encore plus puissants, plus expressifs et plus proches de l'usager (l'être humain) aussi bien dans les applications civiles que militaires. Nous commencerons d'abord par une brève présentation de ce qu'est un SIG et ce qui le différencie d'un système d'information conventionnel. Nous metterons l'accent par la suite sur certains problèmes des SIG et en expliquerons les causes. Nous verrons, en particulier, que le modèle spatial sur lequel sont bâtis la majorité des SIG est intrinsèquement défaillant et ne peut pas résoudre certains types de problèmes qui sont pourtant très courants. Nous décrirons, par la suite le nouveau modèle spatial que nous avons élaboré et qui s'inspire du raisonnement spatial de l'être humain. Ce modèle permet de résoudre la piupart des problèmes des SIG contemporains. Nous montrerons comment mettre en œuvre ce modèle pour résoudre des tâches courantes et concrètes

(recherche et description d'itinéraire) et présenterons le système Qualitative Spatial System (QSS) qui est un prototype fonctionnel d'un système d'information géographique simplifié basé sur notre modèle. Nous finirons ce rapport par la description de certaines applications du modèle proposé dans le domaine militaire.

Le travail présenté dans ce rapport a été effectué conjointement au Département d'informatique de l'Université Laval de 1996 à 1998 et au CRDV sous l'unité de travail 3ag11, de novembre 1998 à juin 2000.

2.0 LES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique capable de contenir et d'exploiter des données décrivant divers endroits sur la surface terrestre afin d'en obtenir des informations utiles dans le processus de prise de décision d'une personne ou d'une organisation. Le SIG «déduit» les relations spatiales (proximité, contiguïté, contenance, etc.) entre les éléments graphiques d'une carte géographique et les utilise dans l'analyse spatiale pour répondre aux requêtes de l'usager. Le SIG utilise une base de données descriptives et la couple avec une base de données spatiales pour faire le lien entre les attributs descriptifs (nom, couleur, grandeur, type, etc.) et les attributs spatiaux (localisation, topologie, orientation, etc.).

Généralement, les questions typiques auxquelles peut répondre un SIG sont (Réf. 3) : Qu'est-ce qui est situé à cet endroit ? , Où est situé l'objet X ? , Où trouve-t-on les objets de type T ? , Qu'est-ce qui a changé depuis la date D à l'endroit E ? Les réponses à ces questions sont déterminées grâce à l'utilisation et l'intégration de la référence spatiale (longitude, latitude et altitude) des objets dans les processus computationnels du SIG et grâce aussi à la maîtrise des liens topologiques entre eux. Les SIG peuvent ainsi trouver le «meilleur chemin» entre deux points, identifier toutes les patrouilles de police dans un périmètre bien défini, afficher la position de tous les avions qui survolent un espace délimité. Les SIG peuvent faire mieux, ils peuvent faire des projections d'un phénomène en se basant sur sa répartition spatiale et son évolution temporelle, ils peuvent faire des analyses spatiales de terrains pour déduire les vulnérabilités des régions face aux catastrophes naturelles, ils peuvent même suivre des

phénomènes dynamiques, les interpréter et prédire leur comportement dans le futur. Curieusement, pour certaines questions beaucoup plus simples et élémentaires pour nous, êtres humains, les SIG sont totalement inopérants. En effet, le plus puissant des SIG actuels ne pourra répondre à une requête du type «combien de soldats y a-t-il **à proximité** de la colline **en face là-bas** ?». Ni Arc\Info, ni MicroStation, ni MapInfo, ni les autres SIG les plus répandus, ne peuvent traiter cette requête ou, au moins, la comprendre. Elle est trop **imprécise** et trop **ambiguë**. Pourtant, un enfant qui connaît les élémentaires du calcul n'aura aucune difficulté à répondre à cette question. Alors, que se passe-t-il, pourquoi les SIG ne peuvent-ils pas répondre à une requête aussi rudimentaire ? Il y a en effet au moins deux raisons :

- Le modèle spatial sur lequel sont basés les SIG est défaillant : comme nous l'avons déjà mentionné, les relations qui existent entre les objets spatiaux d'une carte géographique sont décrites au moyen de la topologie. C'est autour de la topologie que sont bâtis la plupart des traitements spatiaux. Théoriquement, on doit distinguer six relations topologiques de base (Réfs. 4 et 5) : la proximité, l'éloignement, la contiguïté, l'intersection, l'inclusion, et, l'égalité. Or, les SIG n'en implantent que quatre (Réf. 6) : la contiguïté, l'inclusion, l'intersection et l'égalité. Ces quatre relations sont implantées au moyen de fonctions mathématiques exclusivement basées sur l'intersection (la connexion) des nœuds et sur la localisation exacte des objets spatiaux. Ainsi, si deux objets ne se touchent pas physiquement, aucune relation ne peut s'établir entre eux (Réf .7). **D'où l'impossibilité de définir la relation de voisinage qui est une relation fondamentale en raisonnement spatial.**

- Le modèle de communication et d'interfaçage est muet et inadapté. Ce deuxième problème est en réalité une conséquence directe du premier étant donné que l'interaction Usager/Machine est orientée rigidement vers la précision de l'input et le rejet de toute ambiguïté (Réf. 8). Dans ce contexte, **l'utilisation d'une interface qui s'inspire du modèle de communication de l'être humain n'est pas envisageable.**

Dans nos travaux de recherche, nous nous sommes inspirés du modèle spatial du principal usager des SIG, l'être humain, pour élaborer un modèle conforme aux processus cognitifs humains relatifs à la perception de l'espace et au raisonnement spatial (Réf. 9). Nous croyons qu'un tel modèle peut résoudre certains problèmes rencontrés par les SIG sans nécessairement altérer leur puissance et leur capacité de calcul.

3.0 CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE SPATIAL PROPOSÉ

Nous avons cherché à comprendre les processus d'imagerie et de perception qui permettent à l'être humain de raisonner spontanément et intuitivement à propos de l'espace et des objets spatiaux. Nous avons relevé que plusieurs chercheurs (Réf. 10 à 12) pensent que l'être humain construit mentalement des zones d'influence autour des objets qu'il perçoit dans son environnement. Par exemple, si on aperçoit deux grandes montagnes distantes d'environ 1 km, on aurait tous tendance à dire qu'elles sont assez rapprochées. Maintenant, si au lieu de ces deux montagnes géantes on plaçait deux vélos séparés aussi d'environ 1 km, on aurait tendance, cette fois-ci, à dire que ces deux vélos sont éloignés. La distance absolue (environ 1km) est la même dans les deux cas, mais notre appréciation de cette distance a changé. C'est en réalité la zone d'influence des objets comparés qui a influencé notre perception et donc notre raisonnement (Réf. 13).

Les zones d'influence servent à évaluer approximativement les distances et les grandeurs sans avoir recours à une mesure quantitative. Elles servent aussi à distinguer et à tenir compte de l'importance (saillance) des objets dans un environnement spatial. Autrement dit, la construction de zones d'influence autour des objets permet implicitement de tenir compte du voisinage et de raisonner sur la taille, la distance et la proximité des objets spatiaux de façon contextuelle. Par conséquent, nous pouvons déduire que la zone de voisinage joue un rôle important dans l'élaboration de l'aspect qualitatif du raisonnement spatial de l'être humain.

La question qui se pose maintenant est comment exploiter la notion de zone de voisinage dans le processus conceptuel d'élaboration d'un modèle spatial qualitatif. Avant de répondre à cette question, il est nécessaire de définir ce qu'est un modèle spatial qualitatif ?

Il n'existe pas de définition unique et universelle à cette question dans la littérature. Néanmoins, la plupart des chercheurs pensent qu'un modèle spatial doit permettre de **comparer les magnitudes des objets spatiaux tels que perçus par l'œil (ou tout autre périphérique de vision) et non pas les valeurs numériques qui représentent ces magnitudes** [Freksa 1992]. Le raisonnement spatial se base donc sur la comparaison directe entre les objets spatiaux eux-mêmes et non sur les mesures quantitatives de leur grandeur. Autrement dit, il faut être capable de **qualifier** la position des objets par rapport au référentiel global (la scène spatiale) et par rapport aux autres objets de la scène. Pour cela, il faut tenir compte de trois facteurs essentiels : la **topologie**, **l'orientation** et la **distance** (Réf. 14) et les définir de façon qualitative.

Dans le modèle spatial qualitatif que nous proposons, nous utilisons la notion de zone de voisinage pour redéfinir la topologie, l'orientation et la distance. Ces définitions serviront dans le processus de qualification de la position des objets dans l'espace et les comparer les uns par rapport aux autres. Nous présenterons dans les sections qui suivent ces différentes définitions.

3.1. Définition qualitative de la topologie

Pour résoudre donc les problèmes relatifs au voisinage des modèles spatiaux et dans les systèmes d'information géographique, nous proposons une solution simple et intuitive : construire une zone de voisinage autour de chaque objet de la scène spatiale et redéfinir les relations topologiques en tenant compte, cette fois-ci, de la zone de voisinage des objets. La zone de voisinage que nous proposons découle directement de celle de zone d'influence que nous avons introduite précédemment, nous changeons uniquement la dénomination pour marquer la différence entre le niveau cognitif et le niveau computationnel. Formellement, nous définissons la Zone de Voisinage d'un objet O (ZV(O)) comme étant la portion d'espace qui entoure O et qui lui est contiguë telle que :

- ZV a deux bords (bord intérieur -BI- et bord extérieur –BE-) ;
- les bords de ZV ont la même forme graphique (shape) que O ;

- si on trace une ligne perpendiculaire d'un point quelconque Oi localisé sur le bord BO de O, cette ligne coupera le bord intérieur de ZV au point ZVBIi et le bord extérieur de ZV au point ZVBEi tel que (∀ Oi ∈ BO) (dist(Oi, ZVBIi) = c1 et dist(Oi, ZVBEi) = c2 et c1>c2). La distance dist(ZVBIi, ZVBEi) est appelée la largeur de la zone de voisinage.

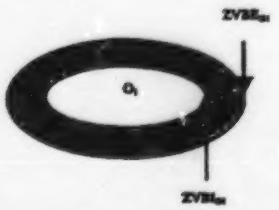

FIGURE 1 - Illustration de la zone de voisinage

On peut maintenant définir la relation de voisinage en considérant que :

un objet O2 est proche d'un objet O1 ssi (O2 ∩ ZV(O1)) ≠ ϕ

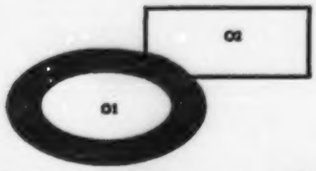

FIGURE 2 - Définition du voisinage entre deux objets spatiaux

La détermination de la dimension de la ZV dépend de plusieurs facteurs, notamment, la dimension de l'objet en question et celle des objets qui l'entourent. Une première méthode simple pour déterminer la dimension de la ZV consiste à choisir un rapport fixe entre la dimension des objets et celle de leur zones de voisinage. Par exemple, on peut considérer que la dimension de la ZV de chaque objet est égale à 20% de la dimension de cet objet. Cette méthode fait évidemment abstraction de l'environnement de l'objet et du contexte du raisonnement : elle ne considère que la dimension des objets pour déterminer la dimension de leur ZV. Or, dans un modèle qualitatif, il faut tenir compte du contexte des objets (Réf. 15). D'où la nécessité d'une autre méthode qui tienne compte du contexte cette fois-ci. Ainsi, pour un même objet spatial, la dimension de la ZV peut changer selon les objets spatiaux présents dans son environnement. Par exemple, supposons que, pour qualifier les positions de deux

montagnes (M1 et M2), nous avons établi un rapport R1 pour la dimension de la zone de voisinage «proche» de la montagne M1. Nous pouvons changer ce rapport si on veut qualifier la position de la montagne M1 par rapport à un arbre quelconque de son environnement. On changera ce rapport parce que le contexte de raisonnement est différent et que les objets présents dans le voisinage de la montagne ne sont pas les mêmes et non pas le même degré de saillance.

3.2. Définition qualitative de la distance

La définition de voisinage telle que nous venons de la présenter, ne permet pas d'exprimer le degré de proximité ou d'éloignement entre les objets. Elle permet uniquement de dire de façon binaire, si un objet X est proche d'un autre objet Y. Or, dans un raisonnement spatial, on a souvent besoin de nuances quant au degré de proximité ou d'éloignement entre les objets (très proche, assez loin, très loin, etc.). Ces nuances varient selon la distance qui sépare les objets, mais aussi en tenant compte de la configuration de la scène spatiale observée. En effet, le lien entre la distance quantitative et la configuration spatiale de la scène est très intime (Réf. 16). Rappelons à cet égard, l'exemple que nous avons donné à propos de la distance séparant les deux montagnes ou les deux vélos. Nous y avons clairement constaté que l'évaluation des distances dépendait énormément de la saillance des objets comparés ainsi que de la configuration de la scène. Il faut donc trouver un moyen d'étendre la portée de la définition de la zone de voisinage afin de tenir compte des distances entre les objets. Pour cela, nous proposons de définir plusieurs zones de voisinage pour chaque objet spatial. Chaque zone représente un certain degré de proximité ou d'éloignement. On peut, par exemple, définir trois zones de voisinage qui représentent respectivement les distances qualitatives : très proche, proche et relativement loin (Fig. 3).

Les différentes ZV sont identifiées au degré de proximité qu'elles représentent. Pour notre exemple précédent, les trois zones de voisinage seront identifiées ainsi :

- ZVtp(Oi) pour la zone de voisinage très proche de l'objet Oi ;
- ZVp(Oi) pour la zone de voisinage proche de l'objet Oi ;
- ZVrl(Oi) pour la zone de voisinage relativement loin de l'objet Oi.

On peut maintenant redéfinir les trois relations de voisinage de l'exemple précédent de la façon suivante :

X est à un certain degré de proximité (dp) de Y ssi $(X \cap ZV_{dp}(Y)) \neq \phi$ ET $(X \cap ZV_{dp-1}(Y)) = \phi$ [1]

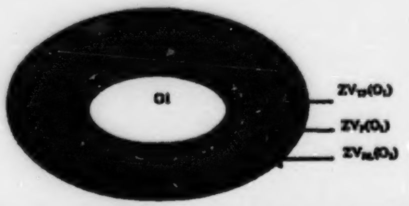

FIGURE 3 - Illustration des différentes zones de voisinage d'un objet spatial

3.3. Définition qualitative de l'orientation

Pour exprimer la définition de l'orientation dans notre modèle, nous utiliserons l'approche de décomposition des objets spatiaux en zones d'orientation de base proposée par Hernández (Réf. 14). La désignation d'une zone d'orientation ZO d'un objet quelconque O se fera de la façon suivante : O_{ZO}. Par exemple, le devant gauche d'un objet O sera désigné par : $O_{devant-gauche}$.

Par ailleurs, plusieurs études ont démontré que les expressions d'orientation et de voisinage sont fréquemment utilisées et intimement liées dans le raisonnement spatial de l'être humain (Réf. 17). Par exemple, quand nous affirmons qu'un objet X est devant un objet Y, nous sous-entendons généralement que X et Y sont proches. Nous pensons donc qu'il est important d'intégrer la définition de la topologie et celle de l'orientation dans notre modèle. Nous obtenons ainsi une seule expression unifiée de la forme $ZV_{dp}(Y_{Ort})$ qui désigne la zone de voisinage de l'objet Y au degré de proximité dp, vu de son orientation Ort.

Formellement, cette intégration se matérialise par la définition suivante : X est à un certain degré de proximité (dp) de Y vu de l'Orientation(Ort) si et seulement si :

---

[1] Le terme $ZV_{dp-1}(Y)$ désigne la ZV de l'objet Y au degré de proximité dp-1, i.e., celui qui précède le degré de proximité dp (qui est plus proche de Y).

$$X \cap (ZV_{\theta\varphi}(Y_{Ori})) \neq \phi$$

Nous n'avons pas encore déterminé le nombre exact de zones d'orientation nécessaires pour bâtir un raisonnement spatial plausible et solide. Cependant, nous pensons comme Hernandèz (Réf. 4 et 14), qu'avec huit zones d'orientation on peut obtenir des résultats expérimentaux concluants.

3.4. Qualification de la position d'un objet spatial dans son environnement

Maintenant que nous avons les définitions explicites et qualitatives de la topologie, de la distance et de l'orientation, nous sommes prêts à montrer comment qualifier la position des objets dans l'espace. Rappelons que dans la littérature, on considère qu'un modèle spatial est qualitatif s'il permet de **qualifier** la position des objets par rapport au référentiel global (la scène spatiale) et par rapport aux autres objets de la scène. Dans notre modèle, nous considérons qu'une carte géographique est une collection d'objets graphiques ayant une signification aux yeux de l'usager. La carte géographique sera ainsi composée d'**Objets Repères**[1] (bâtiments administratifs, centres commerciaux, écoles, etc.) et d'**Objets Supports**[2] (routes, autoroutes, chemins, etc.). Elle comprendra toutes les informations spatiales (orientation, position, topologie) relatives à ces objets ainsi que l'information nécessaire à l'établissement et à la manipulation des zones de voisinage et d'orientation. Une base de données descriptives sera associée à la carte géographique pour représenter les informations descriptives des objets telles que leur couleur, leur nom, leur usage social, etc. Chaque objet de la carte géographique possèdera deux composantes : **une composante spatiale** qui regroupe toutes les caractéristiques spatiales et notamment les définitions qualitatives de la topologie, de l'orientation et de la distance et, **une deuxième composante descriptive** qui regroupe toutes les caractéristiques descriptives de l'objet telles que la couleur, le nom et l'identifiant.

---

[1] Ce sont des objets saillants (remarquables) qui permettent de se repérer et/ou se retrouver dans un environnement quelconque.

[2] Ce sont des objets qui représentent l'infrastructure de mobilité dans une carte géographique.

La figure 4 présente une portion du campus de l'Université Laval où apparaissent des Objets Repères - OR - (des pavillons, des facultés, des unités de divertissement, etc.) et des objets supports que nous appelons aussi Chemins Intermédiaires - CI – puisque ce sont des chemins qui assurent la mobilité entre les différents objets repères de la carte.

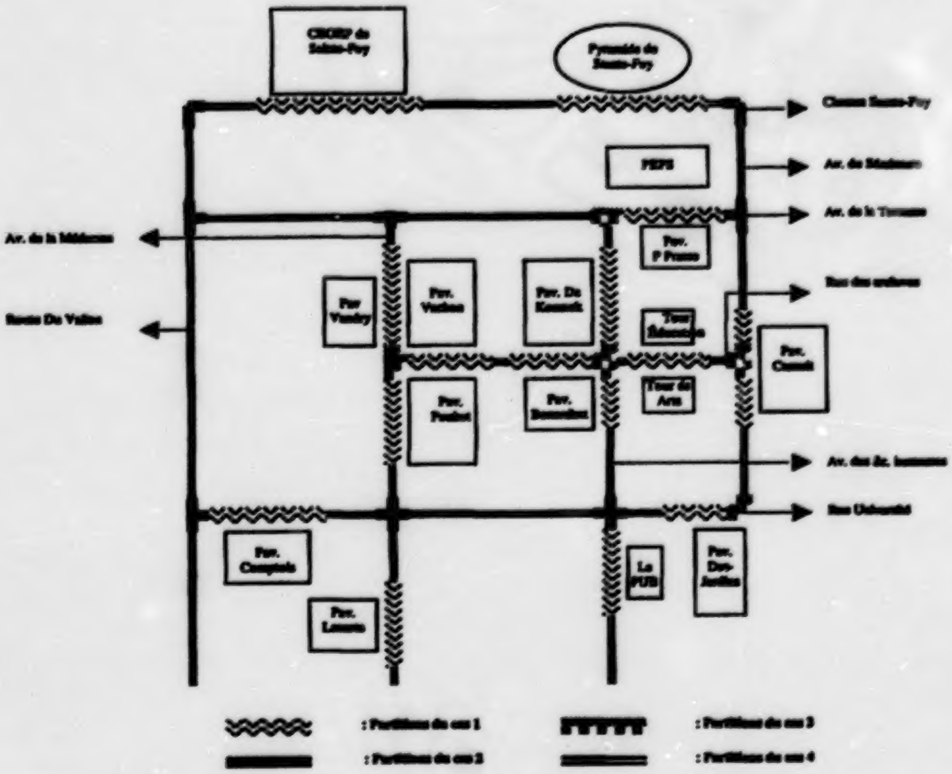

FIGURE 4 - Campus de l'Université Laval segmenté en utilisant notre modèle

En appliquant les définitions de topologie, de distance et d'orientation du modèle proposé à la carte de la figure 4, nous obtenons un espace segmenté dont chaque segment correspond soit:

1. au(x) zone(s) de voisinage d'Objets Repères , ou;
2. à l'intersection de Chemins Intermédiaires, ou;

3. à l'intersection entre des carrefours et des ZV d'objets repères, ou;
4. à un espace non remarquable, ne contenant aucun OR ou zone de voisinage ou intersection de CI.

Ces quatre cas de figure résultant de l'application des définitions qualitatives de la topologie, de la distance et de l'orientation sont exclusifs et permettent de **caractériser chaque segment de la carte géographique** selon les OR et/ou les CI qui lui sont associés.

Afin de représenter formellement ces quatre cas, considérons les deux ensembles[1] suivants :

- 1- ORP(CIx, CC)[2] représentant les objets repères Oi contenus dans la Carte Géographique (CG) dont la zone de voisinage a une intersection non vide avec CIx : $\forall$ (Oi $\in$ ORP(CIx, CC)) ($ZV_p(O_i) \cap CIx \neq \emptyset$).
- 2- ICI(CIx, CC) représentant les chemins intermédiaires CIy contenus dans la CG ayant une intersection non vide avec CIx: ($\forall$ CIy $\in$ ICI(CIx, CC)) (INT(CIx, CIy) $\neq$ $\emptyset$)[3].

Chaque segment K d'un chemin intermédiaire quelconque CIx de la carte géographique correspond maintenant à un cas et un seul parmi les quatre cas présentés précédemment et réécrits ici-bas de façon formelle:

- **Cas-1** : $CI_{x[k]}$ contient au moins un objet repère : $\exists$ Oi $\in$ ORP(CIx, CC) ($ZV_p(O_i) \cap CIx = CI_{x[k]}$) ;
- **Cas-2** : $CI_{x[k]}$ est un carrefour (intersection) de chemins : $\exists$ CIy $\in$ ICI(CIx, CC) ($CIy \cap CIx = CI_{x[k]}$) ;

---

[1] Les noms de ces ensembles signifient : ORP pour Objets Repères Proches, ICI pour Intersections avec Chemins Intermédiaires.

[2] CIx est un chemin quelconque de la carte géographique étudiée.

[3] INT est l'abréviation du mot intersection.

- **Cas-3** : $CI_{x[k]}$ est une intersection entre des chemins qui traversent CI et la ZV de l'un ou plusieurs objets repères ;
- **Cas-4** : $CI_{x[k]}$ est un segment non remarquable qui n'appartient à aucun des trois cas précédents :

  $(\forall\ Oi \in ORP(CIx, CC))\ (ZV_p(O_i) \cap CI_{x[k]} = \varnothing)$ ET $(\forall\ CIy \in ICI(CIx, CC))\ (CIy \cap CI_{x[k]} = \varnothing)$.

Dans la figure 4, nous pouvons clairement constater que chaque segment de la carte appartient à un cas et un seul. Ceci signifie qu'on peut définir logiquement chaque segment d'une carte géographique et, par conséquent, **qualifier chaque objet de la carte en utilisant le segment logique lui correspondant**. Un système basé sur notre modèle peut facilement qualifier la position d'un objet X en formulant des réponses telles que: l'objet X se trouve à côté de l'objet Y, l'objet X se trouve en face de l'objet Y, ou encore, l'objet X se trouve loin à droite de l'objet Y.

Le modèle que nous proposons satisfait pleinement à tous les attributs proposés/exigés par la littérature concernant les modèles spatiaux qualitatifs (Réf. 13). Il définit explicitement l'expression de la topologie en tenant compte du voisinage. Il définit les expressions formelles de l'orientation et de la distance. Il permet, en servant des ces définitions, de qualifier la position des objets les uns par rapport aux autres. De plus, toutes les définitions du modèle sont homogènes et simples. Elles se basent toutes sur le concept de zone d'influence que construit l'être humain autour des objets qu'il perçoit dans son environnement.

Notre modèle peut résoudre les deux grands problèmes auxquels font face les systèmes d'information géographique, c'est-à-dire, la définition de la relation de voisinage et la faiblesse du style d'interaction avec l'usager. Il peut être utilisé dans toute application qui fait référence à l'espace et aux objets spatiaux et, en particulier, dans les systèmes d'information géographique. Dans la section 6 de ce rapport, nous présentons quelques caractéristiques du modèle proposé qui le rendent approprié et bien adapté au contexte militaire et nous décrivons certaines applications militaires qui peuvent en tirer profit.

Nous présentons dans la section suivante un cadre applicatif qui montre comment mettre en œuvre le modèle pour résoudre des problèmes concrets tels que la recherche et la description d'itinéraire.

4.0 MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE PROPOSÉ

La recherche et la description d'itinéraire sont deux applications très classiques et massivement utilisées dans l'expérimentation d'un modèle spatial (Réf. 18). Ce sont aussi deux tâches familières que nous effectuons tous quotidiennement. Pour ces raisons, nous avons choisi la recherche et la description d'itinéraire comme cadre de validation de notre modèle. Nous pourrons ainsi clairement évaluer la capacité du modèle proposé à résoudre des problèmes concrets où se manifestent les attributs qualitatifs du raisonnement spatial de l'être humain. Rappelons que notre modèle n'est pas exclusivement destiné à la recherche et la description d'itinéraire mais il est plutôt conçu pour être utilisé dans toute application qui a besoin de raisonnement spatial (voir section 5).

4.1. Recherche d'itinéraire

La figure 5 présente une carte géographique où apparaissent les différents segments issus de l'application des définitions qualitatives de notre modèle. Nous désignons ces segments αi. Les chemins intermédiaires sont identifiés par Wi et les objets repères par Oi. Cette carte contient sept objets repères et quatre chemins intermédiaires. Les zones de voisinage relatives aux objets repères sont $\alpha 14$ pour l'OS1, $\alpha 1$ pour l'OS2, $\alpha 11$ pour l'OS3, $\alpha 5$ pour l'OS4, $\alpha 21$ pour l'OS5, $\alpha 9$ pour l'OS6 et $\alpha 19$ pour l'OS7. Les autres segments correspondent à des zones non remarquables, i.e., les zones correspondant au cas 4 de figure numéro 4.

Comme le montre la figure 5, l'une des principales caractéristiques des partitions produites par les primitives de notre modèle est leur enchaînement. Cette caractéristique exprime en termes topologiques la relation de connectivité qui est l'ingrédient de base de tout algorithme de recherche d'itinéraire.

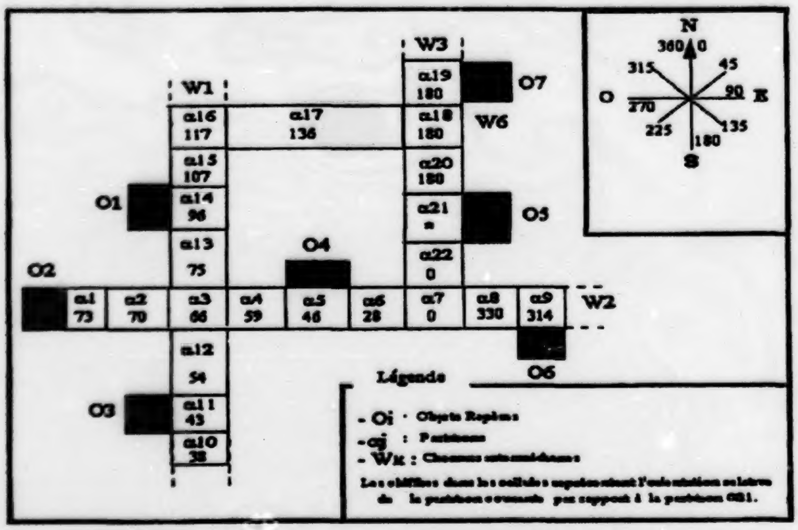

FIGURE 5 - Exemple de scène spatiale partitionnée

La relation de connectivité entre les partitions permet de déterminer à tout moment et à partir de n'importe quelle partition de la carte géographique, les partitions candidates au prochain déplacement. Par exemple, si un Piéton Virtuel (PV) est dans la partition α3, il aura le choix entre quatre partitions candidates : α2 à l'ouest, α12 au sud, α4 à l'est et α13 au nord. Le choix entre ces quatre partitions dépend de l'emplacement de la partition cible (l'adresse de destination) ainsi que du critère d'optimisation (ou de discrimination) adopté. Nous proposons pour modèle deux critères de recherche : le premier consiste à minimiser l'angle de vision (garder toujours le cap vers la cible et minimiser les angles des détours) et le deuxième consiste à minimiser la distance parcourue (se déplacer au prochain point qui rapproche le plus de la cible). Nous renvoyons le lecteur à la Référence 19 pour plus d'information sur ces deux critères.

Pour pouvoir automatiser le processus de recherche d'itinéraire, et ainsi pouvoir comparer n'importe quelle paire de partitions selon le critère d'optimisation retenu, nous devons disposer d'informations de voisinage et d'orientation permettant de mettre en relation chaque paire de partitions de la carte géographique. Pour cela, nous proposons de construire une Matrice d'Orientation et d'Adjacence (MOA) où sont transcrites ces informations pour chaque couple de partitions. Dans le Tableau I, nous présentons un extrait de la MOA correspondant à la figure 5, où sont transcrites les mesures de l'angle

de l'orientation relative de chaque partition par rapport à la partition α21 (la partition cible pour cet exemple) ainsi que les directions cardinales entre les différentes partitions adjacentes de la carte.

<u>TABLEAU I</u>

<u>Exemple simplifié d'une matrice d'orientation et d'adjacence</u>

	α1	α2	α3	α4	α5	α6	α7	α8	α9	α10	α11	α12	α13	α14	α15	α16	α17	α18	α19	α20	α21	α22
α1	*P* O2	O																				
α2	E		O																			
α3		E		O								N	S									
α4			E		O																	
α5				E	*P* O4	O																
α6					E		O															
α7						E		O												S		
α8							E		O													
α9								E	*P* O6													
α10											S											
α11										N	*P* O3	S										
α12			S								N											
α13			N											S								
α14													N	*P* O1	S							
α15														N		S						
α16															N		O					
α17																E		O				
α18																	E		S			N
α19																		N	*P* O7			
α20							N														S	
α21	73	70	66	59	46	28	0	330	314	38	43	54	75	96	107	117	136	180	180	N 0	*P* O5	S 180
α22																		S			N	

En réalité, toutes les lignes de la MOA doivent contenir des chiffres exprimant les mesures de l'orientation relative des partitions, mais, pour simplifier l'illustration, nous

avons choisi de montrer uniquement la ligne concernant la partition cible dans notre exemple initial. Ainsi, la mesure de l'orientation relative de la partition α8 par rapport à la partition α21 est égale à 330 en considérant que la partition α21 est orientée vers le nord. Les lettres O, E, N, S dans la MOA désignent les directions cardinales et se traduisent par des valeurs numériques en degré (respectivement 270, 90, 0, 180) lors du calcul de minimisation de l'angle de vision. Par exemple, pour se déplacer de la partition α2 à la partition α3, il faut prendre la direction est qui représente un angle de déplacement de 90. Dans la MOA du tableau 3, la lettre P en italique indique l'objet spatial proche de la partition en question. Par exemple, la cellule (11,11) de la MOA indique que l'objet spatial est voisin de la partition α11.

L'algorithme général de recherche d'itinéraire qui s'appuie sur l'utilisation de la MOA peut s'écrire ainsi (Réf. 19):

```
TrouverChemin (αx, αy) 1
Début
 Tant que αx <> αy Faire
 Début
    Localiser la ligne de la partition αa dans la MOA ;
    Balayer cette ligne et construire une liste de candidats possibles pour le déplacement de αa ;
    Classifier la liste des candidats en utilisant le critère d'optimisation retenu et en utilisant la
    MOA ;
    Sélectionner le premier candidat dans la liste des candidats et remplacer αa par le αx de ce
    nouveau candidat ;
    TrouverChemin (αx, αy) ;
  Fin ;
Fin.
```

Cet algorithme prend fin quand un itinéraire est trouvé ou quand toutes les possibilités de déplacements à partir de tous les candidats sont explorés sans succès. La liste des nœuds formant l'itinéraire se construit au fur et à mesure des appels récursifs de la fonction TrouverChemin.

---

[1] Dans le premier appel à cet algorithme, αx et αy correspondent aux segments relatifs aux points de départ et d'arrivée désignés par l'usager.

4.2. Description d'itinéraires

Gryl (Réf. 17) a effectué une étude importante dont l'objectif était d'analyser et de modéliser les processus discursifs mis en œuvre lors de la description d'un itinéraire afin de proposer des spécifications pour un générateur automatique de descriptions d'itinéraires en langage naturel. Cette étude a montré que l'être humain utilise principalement deux types de structures pour formuler une Description d'Itinéraire (DI) :

- Les descriptions locales qui peuvent être soit des endroits où le destinataire (i.e., l'individu à qui est destinée la description d'itinéraire) doit changer son orientation, soit des endroits jugés pertinents par l'émetteur pour aider le destinataire à se repérer. Les descriptions locales réfèrent souvent à des repères ou à des objets saillants (remarquables) dans l'environnement ainsi qu'à leur position par rapport au destinataire. **Les descriptions locales correspondent aux objets repères proposés dans notre modèle;**
- Les chemins qui sont des portions de l'itinéraire décrit renfermant des indications pour relier deux descriptions locales. **Les chemins correspondent aux chemins intermédiaires proposés dans notre modèle.**

Soit la description d'itinéraire suivante, tirée de la Référence 17:

«Quand tu sors du métro Place St-André des Arts, tu as à ta droite la Fontaine St-Michel. En face de toi, il y a un magasin Gibert et, à ta gauche, il y a la rue Danton. Continue sur la rue Danton. Tu croiseras à ta gauche la rue des Poitevins, puis la rue Serpente. Tu te trouveras alors devant le Centre Henri Piéron. Prends la rue Mignon».

Dans cette description d'itinéraire, nous pouvons clairement distinguer les descriptions locales (parties soulignées) et les actions de déplacement via des chemins (parties en gras). Nous pouvons également remarquer l'enchaînement et l'interaction entre ces deux structures et leur lien avec l'avancement spatio-temporel et l'orientation du destinataire.

En utilisant les partitions produites par application des différentes primitives du modèle proposé, un itinéraire quelconque $I_{A,B}$ joignant deux points A et B situés dans des chemins intermédiaires quelconques sera formé d'une succession de segments de CI. Nous désignons ECI($I_{A,B}$, CG) l'ensemble des chemins intermédiaires formant l'itinéraire

$I_{A,B}$ de la Carte Géographique CG. Formellement, cet itinéraire peut être représenté par l'ensemble des segments $I_{A,B[k]}$ (k=1 à p) tels que :

$$(\exists x)\ (\exists q)\ (CI_{x[q]} \in PCI(I_{A,B}, CC)\ \text{ET}\ I_{A,B[k]} = CI_{x[q]})$$

Chaque segment $I_{A,B[k]}$ peut être décrit en langage naturel en utilisant les descriptions locales et les chemins intermédiaires qui le composent. Ainsi, dans un segment correspondant aux cas 1, 2 et 3 du modèle, on peut utiliser des descriptions locales telles que «Vous êtes devant l'objet X», «Vous êtes à l'intersection des chemins X et Y», «Vous êtes au croisement des chemins X et Y proche des objets W et Z », etc. Dans un segment correspondant au cas 4, et étant donné qu'il n'y a rien à signaler au destinataire en matière d'objets repères et/ou de chemins intermédiaires, on peut utiliser des descriptions de chemins pour relier deux descriptions locales telles que : «Continuez tout droit, continuez à marcher, etc.» Évidemment, pour tenir compte de la trajectoire de mouvement, il faut considérer l'orientation de chaque segment que le PV emprunte et de la progression temporelle qu'il forme.

La trajectoire de mouvement du PV est formée des différents points de déplacement du PV qui se produisent successivement à différents instants dans le temps (t_0, t_1,..., t_n). Nous désignons Pos(PV, t_c) la position du PV à l'instant t_c. À chaque position Pos(PV, t_c) est associée une orientation définie du piéton virtuel, nous la désignons Orient(PV, t_c) (voir Fig. 6). Étant donnée une séquence d'instants {t_0, ..., t_n} utilisée pour décrire les segments d'un itinéraire $I_{A,B}$, nous pouvons à l'aide de notre modèle et en raisonnant sur l'orientation et l'avancement temporel du PV, spécifier les mouvements de ce dernier sous forme d'expressions verbales similaires à celles utilisées par les être humains pour produire des descriptions d'itinéraires. À titre d'exemple, le tableau suivant[1] présente quelques expressions fréquemment utilisées que nous commenterons par la suite.

[1] Dans ce tableau nous utilisons les conventions suivantes : Orient($CI_{i[j]}$, k) représente l'orientation de la portion $CI_{i[j]}$ de l'itinéraire décrit dans la direction k du chemin CI. Étant donné qu'un chemin est intrinsèquement associé à deux directions opposées, nous considérons que la succession $CI_{i[j]}$, $CI_{i[j+1]}$,..., $CI_{i[j+q]}$ définit la direction ($CI_{i[j]}$, 1) et que la succession $CI_{i[j]}$, $CI_{i[j-1]}$,..., $CI_{i[j-q]}$ définit la direction ($CI_{i[j]}$, -1). Int_{OT} dénote la zone intérieure de l'objet traversable OT.

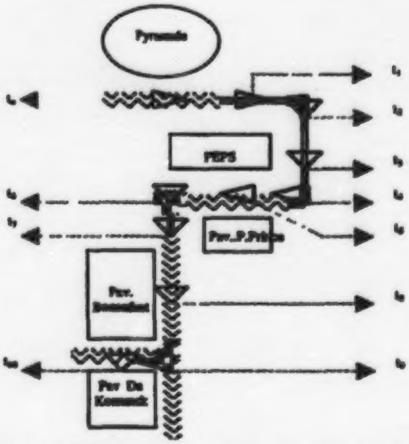

FIGURE 6 - Relevé des positions du PV pour un itinéraire défini

TABLEAU II

Présentation de quelques expressions de DI en utilisant le formalisme proposé

Expressions verbales	Positions du PV	Orientations du PV
Continuer comme ça	Précédente : $Pos(PV, t_{c-1}) \in Cl_{j[x]}$ Courante : $Pos(PV, t_c) \in Cl_{j[x+n]}$ n est un entier positif ou négatif ou nul	Précédente : $Orient(PV, t_{c-1}) = ORIENT(Cl_{j[x]}, k)$ Courante : $Orient(PV, t_c) = ORIENT(Cl_{j[x+n]}, k)$ n est un entier positif ou négatif ou nul
Aller à jusqu'à O_c	Courante : $Pos(PV, t_c) \in Cl_{j[x]}$ Future : $(\exists n)(\exists j)(\exists y)(ZV_pO_C \cap Cl_{j[y]} \neq \emptyset)$ ET $Pos(PV, t_{c+n}) \in ZV_pO_C \cap Cl_{j[y]}$	Courante : $Orient(PV, t_c) = ORIENT(Cl_{j[x]}, k1)$ Future : $Orient(PV, t_{c+n}) = ORIENT(Cl_{j[y]}, k2)$
Traverser Clj	Précédente : $Pos(PV, t_{c-1}) \in Cl_{j[x-e]}$ avec e=+1 ou e=-1 Courante : $Pos(PV, t_c) \in Cl_{i[x]} \exists Cl_{j[y]}$ Prochaine : $Pos(PV, t_{c+1}) \in Cl_{i[x+e]}$	Précédente : $Orient(PV, t_{c-1}) = ORIENT(Cl_{i[x-e]}, k)$ avec e = +1 ou e = -1 Courante : $Orient(PV, t_c) = ORIENT(Cl_{i[x]}, k)$ Prochaine : $Orient(PV, t_{c+1}) = ORIENT(Cl_{i[x+e]}, k)$
Tourner sur Clj	courante : $Pos(PV, t_c) \in Cl_{i[x]} \cap Cl_{j[y]}$ Prochaine : $Pos(PV, t_{c+1}) \in Cl_{j[y+e]}$ avec e=+1 ou e=-1	Courante : $Orient(PV, t_c) = ORIENT(Cl_{i[x]}, k1)$ Suivante : $Orient(PV, t_{c+1}) = ORIENT(Cl_{j[y+e]}, k2)$ Avec e = +1 ou e = -1
Arriver à O_c	courante : $Pos(PV, t_c) \in ZV_pO_C$	Courante : $Orient(PV, t_c) = Orient(PV, t_{c-1})$
Être en face de O_c	courante : $Pos(PV, t_c) \in ZV_pOc_{Devant}$	Courante : $Orient(PV, t_c)$ non spécifiée

- **L'exemple 1** de ce tableau correspond à un mouvement d'avancement. À la position initiale (au temps t_{c-1}), le PV est dans un segment de chemin intermédiaire $Cl_{i[x]}$ avec

l'orientation Orient($CI_{i[x]}$, k). La position courante (au temps t_c) du PV est le segment subséquent à CI_i dans la même direction k. Si n=0, le PV est dans la même portion de chemin intermédiaire, si n>0, le PV est dans le segment $CI_{i[x+n]}$ dans la direction k= +1, si n<0, le PV est dans le segment $CI_{i[x-n]}$ dans la direction k=-1.

- L'exemple 2 correspond à un mouvement d'avancement avec le but de joindre l'objet repère O_c. Cela signifie qu'il y a une position future (au temps t_{c+n}) où le PV sera à l'intersection de la portion $CI_{j[y]}$ et la zone de voisinage de l'objet O_c $ZV(O_c)$.
- L'exemple 3 correspond à un PV qui traverse l'intersection entre les chemins intermédiaires CIi et CIj sans changer d'orientation : Orient(VP, t_c) = Orient($CI_{i[x]}$, k). La traversée de l'intersection est indiquée par le changement de position du PV de $CI_{i[x-e]}$ à $CI_{i[x]}$ et $CI_{i[x+e]}$, avec e = +1 ou e = -1.
- L'exemple 4 correspond à un PV se trouvant à l'intersection des chemins intermédiaires CIi and CIj et qui change son orientation pour suivre CIj dans sa portion $CI_{j[y+e]}$, avec e = +1 ou = -1.
- L'exemple 5 correspond à une forme de localisation individuelle où la position courante du PV (au temps t_c) est dans la zone de voisinage de l'objet repère O_c, avec la même orientation précédente (au temps t_{c-1}).
- L'exemple 6 correspond à un PV dont la position courante (au temps t_c) est en face de la zone d'influence "devant" de l'objet repère O_c avec la même orientation précédente (au temps t_{c-1}).
- L'exemple 7 correspond à un piéton virtuel qui se trouve à l'intérieur d'un OT.

Le tableau suivant traduit en langage naturel l'itinéraire présenté dans la figure 6.

TABLEAU III

Traduction en langage naturel de l'itinéraire présenté dans la figure 6.

En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ IN[illegible]	Orient(VP, t[illegible])	Vous êtes devant la Pyramide de Sainte-Foy
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible]	Orient(VP, t[illegible]) = Orient ([illegible], 1)	Continuez sur le chemin Sainte-Foy .
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible] ∩ WEA[illegible]	Orient (VP, t[illegible]) = Orient (WEA[illegible], 1)	Tournez sur l'avenue du Séminaire
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible]	Orient(VP, t[illegible]) = Orient (WEA[illegible], 1)	Continuez tout droit sur l'avenue du Séminaire
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible] ∩ WEA[illegible]	Orient(VP, t[illegible]) = Orient(WEA[illegible], 1)	Tournez sur l'Avenue de la Terrasse
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible]	Orient(VP, t[illegible]) = Orient(WEA[illegible], 1)	Vous êtes devant le pavillon Palasis-Prince
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible] ∩ WEA[illegible]	Orient(VP, t[illegible]) = Orient (WEA[illegible], 1)	Tournez sur l'avenue des Sciences humaines
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible]	Orient(VP, t[illegible]) = Orient (WEA[illegible], 1)	Continuez tout droit sur l'avenue des Sciences humaines
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible]	Orient(VP, t[illegible]) = Orient(WEA[illegible], 1)	Vous vous trouvez devant le pavillon De Koninck
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible] ∩ WEA[illegible]	Orient(VP, t[illegible]) = Orient(WEA[illegible], 1)	Prenez sur la rue des Archives
En t[illegible]	Pos(VP, t[illegible]) ∈ WEA[illegible]	Orient(VP, t10) = Orient(WEA[illegible], 1)	Vous arrivez à l'entrée du pavillon De Koninck

Les deux applications que nous venons de décrire (recherche et description d'itinéraire) montrent clairement comment mettre en œuvre le modèle spatial proposé pour résoudre des vrais problèmes. Rappelons que notre modèle n'est pas destiné uniquement à la recherche et la description d'itinéraire mais qu'il est conçu pour toute application nécessitant un raisonnement spatial (analyse spatiale, guidage, aide à la décision, etc.). Dans ce document, nous avons condensé la présentation de la mise en œuvre du modèle proposé. Nous renvoyons le lecteur à (Réf. 20) pour une description détaillée de cet aspect.

Par ailleurs, pour assurer la faisabilité computationnelle du modèle spatial proposé et tester ses performances, nous avons bâti le système QSS (Qualitative Spatial System) qui implante un système d'information géographique simplifié basé sur les primitives spatiales de notre modèle (i.e., la construction des zones de voisinage, d'orientation et de distance ainsi que la segmentation dynamique de la carte géographique). La section qui suit décrit la conception et l'implantation du système QSS.

5.0 DESIGN ET IMPLANTATION DU SYSTÈME QSS

5.1. Architecture fonctionnelle du système QSS

Nous avons opté pour une architecture multiagent composée d'un ensemble d'agents qui exploitent une base de connaissances spatiales et coopèrent grâce à des appels et des offres de services. Ceci permet de tirer profit des principes de modularité, d'autonomie et de coopération qui sont les bases de tout système multiagent. Nous considérons qu'un agent est un module ayant une tâche spécifique, des ressources propres et partagées, et qu'il est disposé à offrir des services aux autres agents et à leur demander service à chaque fois qu'il en a besoin. De ce point de vue, nous pouvons développer notre système selon une vision modulaire en considérant que chaque agent est une boite noire autonome qui communique avec d'autres boîtes noires grâce à un protocole de communication prédéfini. Nous présentons à la figure 7 l'architecture fonctionnelle du système QSS. Dans cette architecture, nous distinguons deux parties :

- La première partie (partie non grisée) représente la base du système et permet de résoudre qualitativement des tâches spatiales. Les agents qui composent cette partie forment le coeur du système et assument essentiellement les services relatifs aux primitives qualitatives de modèle. Nous donnerons une description des trois agents qui forment cette partie (i.e. les agents AIA, AGPS et AGTB) un peu plus loin dans cette section ;
- La deuxième partie (partie grisée) englobe les agents externes qui peuvent résoudre des tâches spatiales spécifiques telles que la recherche et la description d'itinéraire (les agent ARI et ADI).

Les flèches en pointillés dans la partie grisée de l'architecture indiquent la possibilité d'intégrer d'autres agents externes pour réaliser d'autres tâches spatiales. Ceci illustre clairement la capacité d'ouverture et d'extension de notre système. En effet, on peut bien considérer le système QSS comme étant un serveur de requêtes spatiales connecté à plusieurs clients qui lui soumettent différentes tâches spatiales à effectuer.

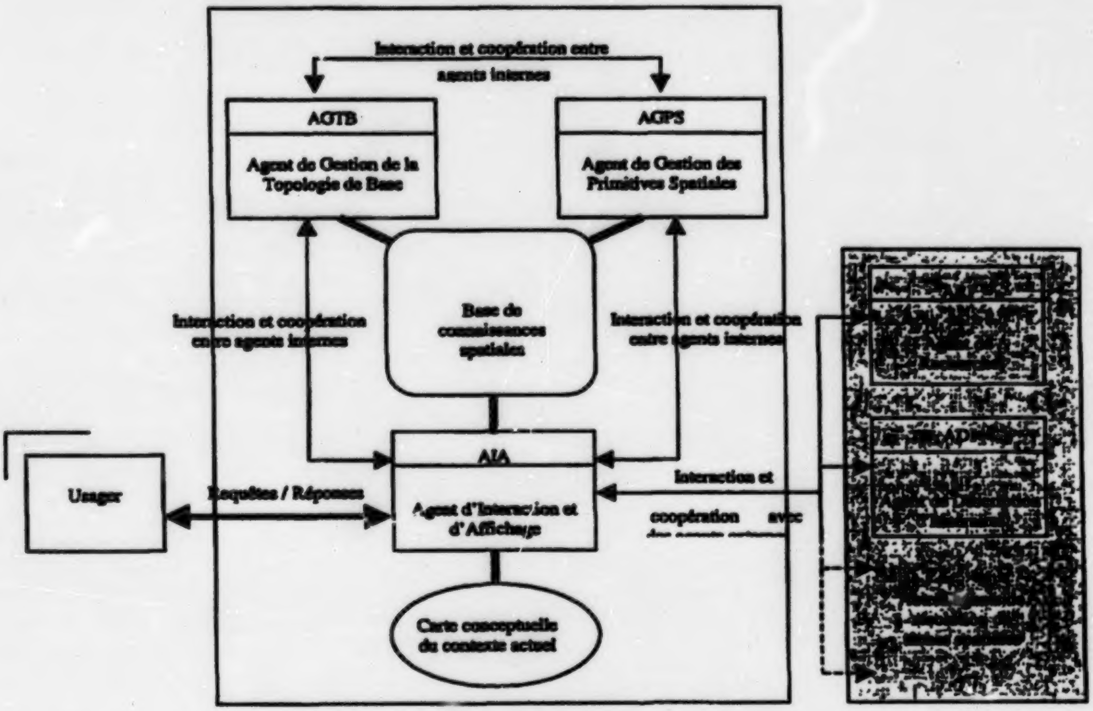

FIGURE 7 - Architecture fonctionnelle du système QSS

Les agents qui forment le noyau du système sont :

- L'AIA (Agent d'Interaction et d'Affichage) s'occupe de tous les aspects d'interaction et d'affichage d'une carte géographique. L'AIA possède toutes les capacités d'un outil de dessin traditionnel et permet de manipuler (récupérer, modifier, mettre à jour, etc.) des objets repères et des chemins. Il gère principalement deux types de requêtes. Le premier type a trait à la construction, la mise à jour et l'affichage de la carte géographique et le deuxième type de requêtes concerne l'accès aux différentes fonctions de résolution de tâches

spatiales spécifiques offertes par le système QSS. L'AIA représente le lien entre l'usager et le système QSS. Il assume toutes les actions de coordination, d'agencement et de répartition de tâches entre les agents de QSS nécessaires à la résolution de la tâche spécifiée par l'usager. L'AIA est le moteur du système QSS. Il comprend plusieurs modules qui contrôlent les événements en provenance de la souris et du clavier et les gèrent en faisant appel, si nécessaire, aux services des autres agents de QSS.

- L'AGTB (Agent de Gestion de la Topologie de Base) offre l'ensemble des services spatiaux de base nécessaires à l'exploitation et à l'interrogation d'une carte conceptuelle tels que le déplacement, le redimensionnement ou les requêtes d'inclusion d'un point dans un objet spatial (ou dans son voisinage). Il offre également toutes les structures de données manipulées par le système QSS. Les objets manipulés par le système QSS sont en fait définis et encapsulés à travers l'AGTB.

- L'AGPS (Agent de Gestion des Primitives Spatiales) travaille continuellement en arrière plan. Il gère les différentes primitives spatiales du modèle et les applique sur la carte géographique actuelle. Il met à jour par la suite la base de connaissances spatiales en incluant les informations relatives au voisinage, à l'orientation et à la distance des différents objets présents sur la carte. L'AGPS offre l'ensemble des primitives spatiales que nous avons développées dans le modèle proposé (voisinage, décomposition, segmentation, construction de la MOA, etc.). Il englobe toutes les procédures et les fonctions nécessaires à la réalisation de ces primitives.

Les agents externes spécialisés que nous avons déjà implantés pour tester le modèle proposé sont :

- L'Agent de Recherche d'Itinéraire (ARI) s'occupe de tous les aspects relatifs à la recherche d'itinéraire selon différents critères. Son objectif principal est de trouver un itinéraire entre deux adresses spécifiées par l'usager et selon un facteur d'optimisation pré-déterminé. L'algorithme général de recherche

d'itinéraire est de type récursif et est ouvert pour s'adapter à n'importe quel critère «d'optimisation».

- L'Agent de Description d'Itinéraire (ADI) sert à d'identifier les expressions en langage naturel correspondant à chacune des partitions de la liste des segements (chemins intermédiaires) formant un itinéraire.

Au niveau des flux généraux d'interactions entre agents, l'AIA se distingue par un accès exclusif à la carte conceptuelle du contexte actuel, puisqu'il est le seul à la construire et à la mettre à jour sur la base des requêtes de l'usager. Les données de cette carte sont transmises par l'AIA aux autres agents en paramètres pour effectuer les tâches intermédiaires nécessaires à la mise en œuvre des primitives qualitatives de notre modèle spatial. Nous constatons que les trois agents du kernel du système sont reliés deux à deux. Ceci illustre la complémentarité et l'interdépendance entre ces agents. En effet, après la construction de la carte conceptuelle par l'agent AIA, celui-ci appelle l'agent AGPS pour appliquer les primitives qualitatives à la carte conceptuelle courante. À cette fin, l'agent AGPS fait lui-même appel aux services de l'agent AGTB pour effectuer certains calculs et exécuter certaines fonctions de topologie de base. Finalement, l'agent AIA a aussi besoin de l'agent AGTB qui lui fournit certaines fonctions nécessaires à la gestion de l'interaction avec l'usager.

5.2. Implantation du système QSS

La figure 8 présente l'interface principale du système QSS. Toutes les fonctions du système QSS sont accessibles à l'usager au moyen cette interface qui est composée de trois parties :

- un menu principal qui permet à l'usager d'accéder aux différentes fonctions offertes par QSS et, notamment , les primitives du modèle spatial proposé;
- une barre d'objets graphiques dont chaque image représente un objet du monde réel généralement impliqué dans la résolution du problème spatial courant (dans notre cas, c'est la recherche et la description d'itinéraire);

- une surface d'édition de la carte conceptuelle où la carte géographique sera construite et mise à jour.

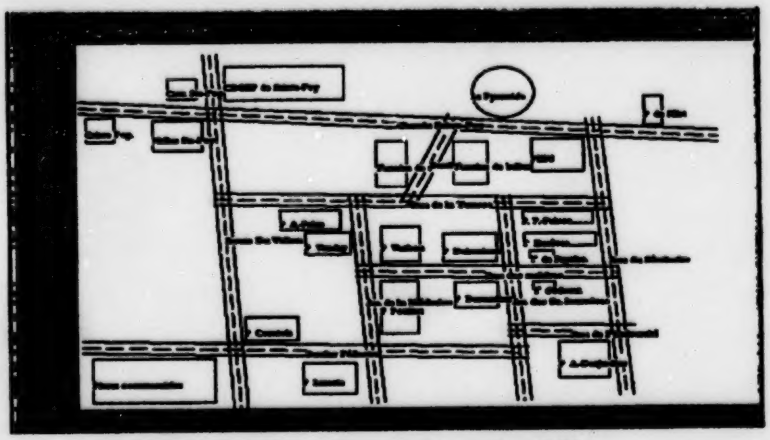

FIGURE 8 - Interface principale du système QSS

L'usager construit graduellement la carte géographique en insérant des objets graphiques et en les ajustant selon la configuration réelle de la scène spatiale qu'il veut reproduire. Dans la figure 9, on a construit une vue partielle du campus de l'Université Laval.

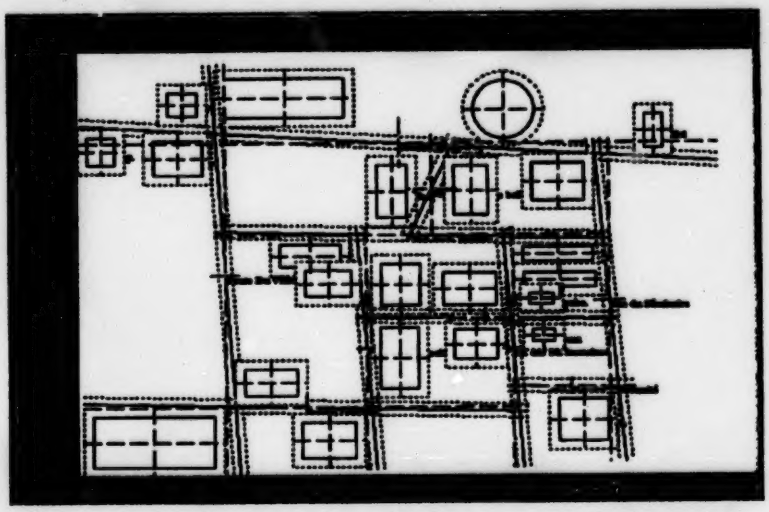

FIGURE 9 - Exemple d'application des primitives du modèle spatial proposé

P514941.PDF [Page: 35 of 51]

L'usager peut spécifier au système certains paramètres dynamiques utilisés par les différentes primitives du système (nombre de zones de voisinage, dimension des ZV, type de décomposition, etc.). En tout temps, le système permet à l'usager d'appliquer les primitives spatiales du modèle pour préparer la carte géographique actuelle à servir dans les traitements des agents externes de résolution de problèmes. La figure 9 montre la carte géographique de l'Université Laval sur laquelle on a appliqué les différentes primitives du modèle.

Le menu principal de QSS permet d'accéder aux différents agents externes au moyen de la commande «Applications». L'usager choisira les commandes «Application» puis «Recherche et Description d'itinéraire» et verra apparaître l'interface correspondant à cet agent (Fig. 10). Il désignera alors les points de départ et d'arrivée (en cliquant) sur la carte, il choisira le critère de recherche qu'il préfère et décidera du style de la description d'itinéraire qu'il veut obtenir. Ce style dépend du niveau de détail que l'usager souhaite obtenir dans la description. Finalement, si tous les paramètres sont à la satisfaction de l'usager, ce dernier peut cliquer sur le boutton «Rechercher» pour obtenir l'itinéraire demandé. Le système affiche alors cet itinéraire (Fig. 10) à l'écran et crée un fichier texte qui contient la description complète (Fig. 11).

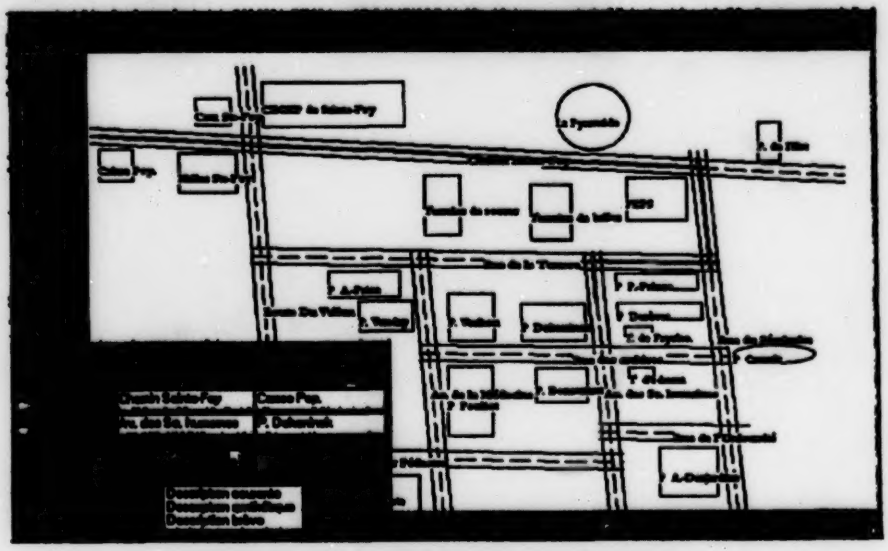

FIGURE 10 - L'interface de recherche d'itinéraire

[illegible]

FIGURE 11 - Exemple de description d'itinéraire générée par QSS

Afin de tester la performance et la plausibilité des Itinéraires et des Descriptions d'Itinéraires (IDI) du système QSS, nous avons réalisé une expérience impliquant vingt sujets humains (Réf. 9). Le but était de comparer les IDI produits par QSS avec les IDI produits par les sujets. Le résultat de cette expérience était positif, puisque plus de 80% des sujets n'ont pas pu distinguer les IDI artificiels des IDI humains, et nombre d'entre eux ont qualifié d'artificiels des IDI produits par des sujets humains.

6.0 APPLICATION DU MODÈLE PROPOSÉ DANS UN CONTEXTE MILITAIRE

Nous pensons que le modèle proposé peut être utilisé par les Forces canadiennes (FC) dans plusieurs domaines. En effet, plusieurs caractéristiques de ce modèle le rendent très approprié dans un contexte militaire où une analyse spatiale cognitive doit être effectuée et où diverses contraintes doivent être prises en compte. Parmi ces caractéristiques, on peut citer:

- **La taille la base de données géographique exigée par le modèle est très faible :** en effet, la représentation visuelle (graphique) des cartes géographiques dans le modèle proposé est très peu exigeante au point de vue de capacité de stockage. Elle tient compte uniquement des objets saillants et significatifs pour l'usager et omet tous les autres détails. Ces détails peuvent, dans certaines situations d'urgence, alourdir le système en fournissant un raffinement non désiré et coûteux au point de vue temps d'exécution (structures de données complexes et itérations inutiles) et de présentation des résultats (affichage à l'écran et interaction avec l'usager). Dans le modèle proposé, les données géographiques pour représenter une scène quelconque peuvent facilement être stockées sur une seule disquette ou transmises d'un endroit à un autre par des liens sans fil en très peu de temps. Ceci permet de couvrir des territoires vastes tout en disposant des informations nécessaires pour appliquer le modèle proposé et résoudre des problèmes.

- **La capacité d'interaction :** le modèle proposé permet d'interagir avec l'usager de façon beaucoup plus naturelle et intuitive. L'usager peut exprimer les requêtes au système de façon qualitative et en utilisant la relation de voisinage. L'usager se libère ainsi des contraintes de précision et de non-ambiguïté exigées par les systèmes d'information géographique contemporains et suit son propre modèle mental. Il peut formuler ses requêtes et recevoir les réponses du système sous une forme qui s'approche du langage naturel. Le modèle spatial proposé permet ainsi d'être «plus proche» de l'usager et de mieux comprendre/interpréter ses requêtes.

- **Efficacité des applications :** les applications de recherche et de descriptions d'itinéraires que nous avons implantées démontrent l'efficacité de l'approche qualitative adoptée. Cette approche focalise en effet sur le fond du problème et omet les détails. Les algorithmes de résolution de problème sont, par conséquent, plus compacts et les itérations qu'ils contiennent sont moins nombreuses par rapport à l'approche quantitative conventionnelle. La taille faible des données traitées explique aussi la performance du modèle.

- **Modularité et portabilité** : l'architecture multiagent sur laquelle est basé le système QSS permet d'offrir l'infrastructure de raisonnement spatial qualitatif à n'importe quelle application qui en a besoin. En effet, on peut bien considérer le système QSS comme étant un serveur de requêtes spatiales (ou un module de raisonnement) connecté à plusieurs clients qui lui soumettent différentes tâches spatiales à résoudre.

Étant donné l'utilisation accrue des SIG dans le domaine militaire (Réf. 2) et leur prolifération de plus en plus concrète dans les différents éléments des Forces armées canadiennes (air, terre, mer, conjointe), nous croyons qu'il existe une foule d'applications militaires qui pourraient bénéficier de ce modèle :

- recherche et description d'itinéraires pour des soldats en temps de guerre ou en mission de paix;
- guidage et aide à la conduite pour les convois militaires;
- analyse de proximité et analyse de terrain pour la recherche et sauvetage;
- module de raisonnement spatial pour la fusion des données;
- SIG pour l'aide à la compréhension de la situation ("situation awareness");
- recherche et repérage de soldats/unités/pilotes égarés;
- module de raisonnement pour toute application nécessitant un raisonnement spatial;
- détermination de chemins d'évacuation ou de routes d'approvisionnement en situation d'urgence ou en gestion de crise environnementale (par exemple, feux de forêt, inondation).

Dans les sections suivantes, nous présentons de façon plus détaillée quatre applications militaires typiques pouvant exploiter le modèle proposé.

6.1 Analyse de terrain et compréhension de la situation

Lors d'un conflit armé, l'une des tâches essentielles du commandement et contrôle est l'analyse du terrain, avec comme objectifs la compréhension de la situation

courante, la détermination des intentions des forces ennemies et la définition des plans de ses propres forces. L'analyse du terrain comporte l'identification des éléments clés du terrain en fonction du niveau de commandement (par exemple, compagnie, bataillon, brigade), du type de formation (par exemple, infanterie, blindé, artillerie) et de la mission de l'unité (opération offensive ou défensive). Parmi les éléments clés du terrain, on trouve (Réf. 21 et 22):

- **Terrains dominants :** les zones de terrain élevées (montagnes ou collines) peuvent se révéler un atout important au niveau de la surveillance et des positions de tir ;
- **Voies d'accès :** les routes, ponts et plaines sont des éléments de terrain importants pour le déplacement des troupes. Le déplacement des troupes peut se faire par convoi pour se rendre à la zone de combat ou lors d'une retraite mais se fait plutôt en position de formation déployée dans la zone de combat ;
- **Caches :** les zones de végétation doivent être évaluées selon leur capacité de camouflage en fonction de la taille de l'unité et des véhicules à camoufler ;
- **Obstacles :** les rivières, ravins, pentes abruptes consituent des obstacles pouvant ralentir la progression des troupes. Le champ de bataille peut aussi contenir des obstacles non naturels bâtis par les troupes amies ou ennemies. Les zones de végétation constituent aussi des obstacles à être vérifiés en fonction du type et densité de la végétation et du type de troupes à déplacer (troupes à pied, type de véhicule) ;
- **Sols :** le type de sol (dur, argileux, marécageux) a un impact majeur sur le déplacement des troupes. Les conditions météorologiques ont une incidence significative sur le sol ;
- **Positions des troupes amies et ennemies :** ceci inclut la position projetée des troupes amies selon les ordres de mission.

L'analyse de tous ces éléments permet de calculer la traficabilité d'une zone de terrain en fonction des voies d'accès, du type de sol, des obstacles et des zones de végétation. Par la suite, le commandant peut identifier les voies d'approche potentielles

de l'ennemi, déterminer la position des postes d'observation et des canons d'artillerie, définir les objectifs et les déplacements. Tous ces éléments de terrain sont étroitement liés. Ainsi, un terrain dominant a peu d'intérêt s'il ne se trouve pas dans une zone de voisinage de voies d'accès. L'orientation est également importante. La capacité de camouflage doit être évaluée en fonction de la position des forces ennemies et de celle du soleil.

L'analyse de terrain dans les systèmes de commandement et contrôle se fait de façon manuelle par l'observation de la carte et la reconnaissance sur le terrain. Ces systèmes bénéficieraient grandement d'outils d'aide à la décision. Dans cette optique, le modèle qualitatif décrit dans ce rapport serait très pertinent. En effet, comme on l'a mentionné, l'analyse de terrain effectuée par les officiers militaires s'appuie sur un raisonnement cognitif où les éléments clés du terrain sont identifiés et mis en relation les uns avec les autres. La forme ou la représentation exacte des éléments de terrain sont peu importantes. Par contre les relations de voisinage et d'orientation le sont.

Dans un premier temps, les objets repères et les chemins intermédiaires seront modélisés. Les objets repères du modèle seraient ici les zones dominantes et les zones de végétation assurant un bon camouflage. Les chemins intermédiaires seraient constitués des voies d'accès, des obstacles (contraintes). Le niveau de granularité ou de détail des objets repères ou chemins intermédiaires serait en général faible, ce qui permettrait de gérer efficacement un nombre restreint d'entités dans le modèle. Les relations topologiques et de voisinage seraient paramétrisées, puisque la portée des tirs, les zones d'intérêt pour la surveillance et les distances de déplacement varient en fonction de la taille de la formation et de la mission. Dans un deuxième temps, une analyse de traficabilité permettrait d'associer une vitesse de déplacement ou poids à chacun des éléments (sous-section) des chemins intermédiaires, en fonction des caractéristiques de ces éléments (par exemple, route, pont, ravin, type de sol, pente).

Le modèle ainsi obtenu permettrait de générer des itinéraires avec calcul du temps de déplacement d'une position à une autre. En utilisant les relations de voisinage entre les voies d'accès et les terrains dominants, les itinéraires pourraient également être contraints. Ainsi, on pourrait faire en sorte qu'un itinéraire soit le plus possible sous le couvert de feu de troupes amies positionnées sur les terrains dominants (points repères).

Le contraire pourrait aussi être vrai, c'est-à-dire qu'un itinéraire devrait se soustraire le plus possible au feu des troupes ennemies localisées à certains endroits particuliers.

Une des difficultés de cette application est liée à la modélisation du terrain. Bien sûr, l'analyste de terrain pourrait modéliser la zone d'intérêt de terrain et la partitionner dans les différents objets. Cependant l'intérêt serait davantage d'avoir un système où la modélisation serait automatisée. Ainsi, les terrains dominants, les vallées, les routes et obstacles seraient extraits automatiquement du modèle spatial quantitatif. Ceci est envisageable. Le CRDV effectue des travaux de recherche en ce sens.

6.2 Opérations urbaines

Les Forces canadiennes ont souligné la forte tendance des conflits futurs à se situer dans des environnements urbains et déterminé le besoin d'améliorer la capacité de comprendre la situation courante (situation awareness) dans ces environnements. De plus, l'un des scénarios des FC est de fournir de l'aide humanitaire et l'assistance en situation d'urgence, incluant le besoin d'opérer dans des zones urbaines et cela en toutes saisons (Réf. 23).

Pour soutenir les FC dans un conflit urbain, une représentation en trois dimensions de l'information spatiale urbaine, des outils de navigation (réalité virtuelle) et d'aide à la décision sont envisagés pour le futur. Ces outils permettraient de visualiser la situation courante, incluant la position des troupes (amies, ennemies), des voies d'accès, des édifices tactiquement significatifs (édifices dominants, édifices gouvernementaux, entrepôts de matériel explosif), d'évaluer les menaces (positions potentielles de tireurs embusqués, propagation de produits toxiques) et de déterminer les chemins à parcourir par les troupes.

Le modèle spatial qualitatif serait très approprié pour ce type d'application en raison de ses capacités d'exploiter les relations topologiques entre les objets et de simplifier le raisonnement spatial. En effet, comme nous l'avons vu dans l'exemple de l'Université Laval (Fig. 4), l'environnement peut-être décomposé en édifices (objets repères) et voies d'accès (chemins intermédiaires). Dans le contexte d'un conflit urbain, les objets repères peuvent être des sites à circonscrire ou à surveiller, des endroits à éviter (positions de tireurs embusqués), ou des endroits facilement reconnaissables (édifices

dominants ou particuliers, pancartes). Les notions de voisinage sont utilisées pour déterminer les zones de danger en fonction de la position des troupes ennemies et de la portée de leur tir. Étant donné la nature conceptuelle du modèle, les zones de danger sont approximatifs. Dans un deuxième temps, un modèle spatial quantitaf pourrait-être utilisé pour déterminer pour un secteur donné les zones exactes atteignables par un tireur embusqué, compte tenu de la position et forme des édifices et des angles et portée de tir.

Le modèle qualitatif pourrait être utilisé pour définir l'itinéraire de déplacement des troupes en fonction de la mission à accomplir. La description en langage naturel des itinéraires pourrait par la suite être utilisée pour former le document des Ordres ou être utilisé directement par le commandant. Une fonctionnalité encore plus désirable est de permettre de visualiser ce déplacement à l'aide d'une représentation en trois dimensions du modèle. Cette représentation pourrait être implantée à même le modèle cognitif, à l'aide de représentations discrètes des différents objets repères (storyboard) ou en utilisant un système plus complexe de réalité virtuelle. Compte tenu du contexte potentiellement hostile, cette fonctionnalité permettrait aux troupes de répéter et de se familiariser visuellement avec la tâche avant le déplacement réel.

6.3 Gestion de crises environnementales

Pour appuyer les FC dans une situation d'urgence ou un contexte de gestion de crise environnementale, le modèle qualitatif semble encore une fois approprié. Dans ce cas, les éléments d'intérêt sont les positions des éléments à circonscrire (par exemple, les zones de feux de forêt, les zones d'inondation, les zones de personnes à évacuer), le terrain décomposé en secteurs (par exemple, secteurs forestiers, agglomération de maisons), les ressources (par exemple, hôpitaux, casernes d'incendie, matériaux), tous représentés comme objets repères et les voies d'accès (routes ou cours d'eau importants) modélisés comme chemins intermédiaires. Dans cette application, la nature très large de notion de voisinage est vraiment claire. Voici trois exemples de cas de voisinage dont les distances sont très différentes selon le contexte :

- entre l'hôpital et la route d'accès ;
- entre les personnes en détresse et l'hôpital le plus proche ;

- entre la zone de feux de forêt et la localisation du secteur à évacuer.

Le modèle qualitatif permettrait de déterminer les itinéraires d'évacuation, les routes d'approvisionnement permettant d'acheminer les ressources (ambulanciers) et matériaux (sacs de sable) vers les sites de ces crises environnementales. Idéalement, le modèle devrait être dynamique et permettre la prédiction temporelle d'événements tels que la propagation de feux de forêt, l'évolution des inondations et la considération de la nature dynamique de certaines contraintes telles que le trafic routier. En plus de produire les itinéraires, le modèle pourrait peut-être également permettre de déterminer les flux de déplacements, très pertinents dans le contexte d'une évacuation.

6.4. Recherche et sauvetage

Le raisonnement spatial est omniprésent dans les activités de recherche et sauvetage d'un contrôleur aérien. En effet, presque toutes les décisions du contrôleur font intervenir des contraintes spatio-temporelles. Un exemple typique du recours au raisonnement spatial est celui de la délimitation de la zone de recherche. Généralement, le contrôleur utilise une carte géographique de la région en question et délimite manuellement selon des protocoles établis l'étendue de la zone de recherche. Il étudie par la suite la topologie de la région et la nature des objets spatiaux qu'elle renferme afin d'étendre éventuellement cette zone pour inclure d'autres objets repères tels que les autoroutes, l'océan ou les lacs à proximité de la zone de recherche initiale. Il émet finalement des hypothèses et les valide en les confrontant aux informations reçues de différentes sources et aux contraintes spatiales qu'il observe sur le terrain.

Des études préliminaires ont été entreprises pour démontrer l'applicabilité du modèle spatial que nous proposons dans un contexte de recherche et sauvetage. Ces études ont confirmé la pertinence du modèle proposé mais ont aussi mis à jour certaines faiblesses ou ajouts nécessaires. Parmi les avantages du modèle proposé dans un contexte de recherche et sauvetage, on peut citer :

- L'existence intrinsèque de <u>primitives de gestion des zones de voisinage</u> qui peuvent être utilisées pour générer les zones primitives et secondaires de recherche. Ainsi, si le contrôleur le désire, un système utilisant notre modèle

pourrait étendre la zone de recherche initiale pour inclure des objets repères significatifs à proximité de la zone de recherche initiale en se basant sur les zones de voisinage et sur des heuristiques et des procédés qu'il faut au préalable établir en collaboration avec le contrôleur aérien.

- La prise en compte systématique de la saillance des objets dans l'environnement et la fondation de tous les traitements et les analyses spatiaux sur l'importance relative des objets les uns par rapport aux autres. Le système serait en mesure d'identifier et d'isoler les objets spatiaux significatifs se trouvant dans la zone de recherche initiale. Il construirait par la suite les différentes sous zones significatives en se basant, par exemple, sur la présence d'agglomérations d'objets spatiaux particuliers qui peuvent contribuer au processus de localisation d'un avion (montagnes, côtes, autoroutes, etc.) et/ou qui peuvent influencer les mesures de sauvetage résultantes (postes de polices/pompiers, hôpitaux, aéroports, etc.).

- La possibilité d'implantation d'une fonction qui permettrait de gérer l'ambiguïté et l'imprécision dans les coordonnées relatives à la position d'un avion et d'en extraire la position le LKP (Last Known Position, i.e., la dernière position connue de l'avion). Cette fonction serait très utile dans le cas, par exemple, où c'est un témoin oculaire qui fourni (en langage naturel) la position approximative de l'avion en se basant sur les objets repères qu'il connaît. Cependant, le modèle proposé doit encore être perfectionné pour inclure des primitives de gestion d'incertitude, d'évolution temporelle et d'analyse spatiale en trois dimensions.

7.0 CONCLUSION

Les systèmes d'information géographique contemporains offrent des capacités d'analyse spatiale très avancées. Cependant, ces capacités sont limitées lorsqu'on les compare à celles de l'être humain. En effet, bien que les SIG commerciaux puissent exploiter les relations topologiques (spatiales) entre les objets, ils ne peuvent pas tenir compte de leur saillance et de leur importance relative dans l'environnement. L'être humain pour sa part peut discréminer rapidement les objets importants d'une scène (p. ex. montagnes, routes, rivières) et les mettre en relation les uns avec les autres.

Un modèle spatial qualitatif qui s'inspire du raisonnement spatial de l'être humain a été élaboré et présenté dans ce rapport. Ce modèle redéfinit de façon qualitative la topologie, l'orientation et la distance à l'aide des notions de zone d'influence ou de voisinage entre les objets et de la saillance de ces objets. Le concept de proximité est donc mis en contexte. Ainsi, deux montagnes peuvent être voisines l'une de l'autre même si elles sont distantes d'un km et séparées par une route.

Le modèle spatial proposé a été implanté avec succès à l'aide du prototype Qualitative Spatial System QSS. Des algorithmes de recherche d'itinéraires ont été mis au point. Comme le processus d'analyse spatial correspond davantage au processus de raisonnement cognitif de l'être humain, les résultats de l'analyse et l'interaction avec l'usager peuvent se faire selon une forme de langage naturel.

Dans un contexte militaire, plusieurs applications de commandement et contrôle pourraient tirer avantage de ce modèle spatial qualitatif. Par exemple, la recherche d'itinéraires pour les convois, la suggestion d'approches possibles des forces ennemies, l'identification et la priorisation des zones de recherche en situation de recherche et sauvetage.

8.0 RÉFÉRENCES

1. Heather Campbell and Ian Masser, GIS and Organizations, ESRI Store, Taylor & Francis Ed.,1995.
2. Environmental Systems Research Institute Inc., The role of geographic information systems on the electronic battlefield, An ESRI white paper, 1998.
3. G. B. Korte, The GIS Book, 4th edition, OnWord Press, Santa Fe 1997.
4. D. Hernández, Qualitative Representation of Spatial Knowledge, Springer-Verlag 1994.
5. C. Freksa, Temporal reasoning based on semi-intervals, Artificial Intelligence, 54, pp. 200-227, 1992.
6. R. Laurini, D. Thompson, Fundamentals of Spatial Information System, Academic Press Ltd 1992.
7. C. M. Gold, The Meaning of Neighbours, lecture notes in Computer Science, Volume 639, pp. 220-235, Springer-Verlag 1992.
8. Peter Burrough and Rachael McDonnell, Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press 1998.
9. D. Kettani, B. Moulin, A Spatial Model Based on the Cognitive Concept of Influence Area, Proceedings of ICCS'99, Spain 1999.
10. I. Biederman, Recognition by Components, Psychological Review 94, pp.: 115-147, 1987.
11. M. Denis, Image et Cognition, Presses Universitaires de France, Paris 1989.
12. M. Gahegan, Proximity Operators for Qualitative Spatial Reasoning, Proceedings of the International Conference COSIT'95, Austria 1995.
13. D. Kettani, B. Moulin, A Spatial Model Based on the Notions of Spatial Conceptual Map and of Object's Influence Areas, Proceedings of COSIT'99, Germany 1999.

14. E. Clementini, O. Di Felice, D. Hernández, Qualitative representation of positional information, 1997.

15. C. Freksa, Qualitative spatial reasoning, In Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space, by D. M. Mark and A. U. Frank, pp. 361-372, NATO advanced Studies Institute 1991.

16. D. Hernández, Qualitative distances, Proceedings of COSIT '95, LNCS, Springer 1995.

17. A. Gryl, Analyse et modélisation des processus discursifs mis en œuvre dans la description d'itinéraires, Thèse de Doctorat d'Université en Sciences Cognitives, LIMSI-CNRS, Université Paris-XI, Orsay 1995.

18. B. J. Kuipers, Qualitative reasoning, The MIT Press 1994.

19. D. Kettani, B. Moulin, A Wayfinding Application Based on the Influence Area Spatial Model, Proceedings of FLAIRS'99 Conference, Special Track on Spatiotemporal reasoning, Florida 1999.

20. D. Kettani, Conception et implantation d'un modèle spatial qualitatif qui s'inspire du raisonnement spatial de l'être humain, Thèse de Ph.D., Département Informatique, Université Laval 1999.

21. C. McCann, C. Mook., Spatial Information In Tactical Planning, DCIEM 83-R-60, December 1983.

22. D. Gouin, A. Bagnulo, M. Parenteau, 'Geographic Information System Requirements for Land Forces Tactical Command and Control', DREV R-4749, April 1994, UNCLASSIFIED

23. The Land Force Strategic Direction and Guidance Document, draft, 28 May 1998.

DISTRIBUTION INTERNE

DREV TR-1999-216

1 - Directeur général
1 - Directeur général adjoint
1 - Scientifique en chef
6 - Bibliothèque des documents
1 - Dr. D. Kettani (auteur)
1 - D. Gouin (auteur)
1 - Dr. E. Bossé
1 - Dr. A. Guitouni
1 - M. Bélanger
1 - J. Roy
1 - Dr. I. Abi-Zeid
1 - L. Lamontagne
1 - V. Pille
1 - S. Paradis
1 - Dr. G. Vézina
1 - F. Létourneau
1 - Dr. L. Pigeon
1 - G. Thibault
1 - Major M. Gareau
1 - M. Lizotte
1 - M. Gauvin

DISTRIBUTION EXTERNE

DREV TR-1999-216

1 - DRDCGI

1 - DRDCGI (exemplaire non relié)

1 - DRDD

1 - DSTCCIS

1 - DSTL

1 - CRDO (Attn: S. Lam)

1 - IMCME (Attn : C. McCann)

1 - J2 Geo Ing

1 - DBRT 4

1 - DRIOT

1 - Bibliothèque du Collège

UNCLASSIFIED
SECURITY CLASSIFICATION OF FORM
(Highest Classification of Title, Abstract, Keywords)

DOCUMENT CONTROL DATA

1. ORIGINATOR (name and address) DREV 2459 Blvd Pie XI North Val-Bélair QC G3J 1X5	2. SECURITY CLASSIFICATION (Including special warning terms if applicable) UNCLASSIFIED

3. TITLE (its classification should be indicated by the appropriate abbreviation (S, C, R or U)
CONCEPTION ET IMPLANTATION D'UN MODÈLE SPATIAL QUALITATIF ADAPTÉ AUX APPLICATIONS DE COMMANDEMENT ET CONTRÔLE

4. AUTHORS (Last name, first name, middle initial. If military, show rank, e.g. Doe, Maj. John E.)
KETTANI, Driss and GOUIN, Denis

5. DATE OF PUBLICATION (month and year) November 2000	6a. NO. OF PAGES 41	6b .NO. OF REFERENCES 23

7. DESCRIPTIVE NOTES (the category of the document, e.g. technical report, technical note or memorandum. Give the inclusive dates when a specific reporting period is covered.)
Technical Report

8. SPONSORING ACTIVITY (name and address)
N/A

9a. PROJECT OR GRANT NO. (Please specify whether project or grant) Work Unit 3ag11	9b. CONTRACT NO. N/A
10a. ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER DREV-TR 1999-216	10b. OTHER DOCUMENT NOS N/A

11. DOCUMENT AVAILABILITY (any limitations on further dissemination of the document, other than those imposed by security classification)

- ☒ Unlimited distribution
- ☐ Restricted to contractors in approved countries (specify)
- ☐ Restricted to Canadian contractors (with need-to-know)
- ☐ Restricted to Government (with need-to-know)
- ☐ Restricted to Defense departments
- ☐ Others

12. DOCUMENT ANNOUNCEMENT (any limitation to the bibliographic announcement of this document. This will normally correspond to the Document Availability (11). However, where further distribution (beyond the audience specified in 11) is possible, a wider announcement audience may be selected.)
Unlimited Announcement

UNCLASSIFIED
SECURITY CLASSIFICATION OF FORM
(Highest Classification of Title, Abstract, Keywords)

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF FORM
(Highest Classification of Title, Abstract, Keywords)

13. ABSTRACT (a brief and factual summary of the document. It may also appear elsewhere in the body of the document itself. It is highly desirable that the abstract of classified documents be unclassified. Each paragraph of the abstract shall begin with an indication of the security classification of the information in the paragraph (unless the document itself is unclassified) represented as (S), (C), (R), or (U). It is not necessary to include here abstracts in both official languages unless the text is bilingual).

(U) This document describes a novel spatial model, which has been designed to better reflect human reasoning and to resolve certain problems encountered by commercial Geographical Information Systems. Many command and control military applications can then be enhanced and improved using this new model. The proposed model is based on the notion of influence area, which corresponds to a portion of space that people mentally build around spatial objects to take into account the importance and the salience of these objects in the environment. It quantitatively defines the topology and spatial relationships, including distance, orientation and neighborhood. Moreover, this model allows interacting with the user using a communication form that mimics human communication. This document also describes how the model was implemented, using the QSS (Qualitative Spatial System) prototype, to search for and describe itineraries. Finally, a review is made of command and control military applications that could benefit from this model.

RÉSUMÉ

(U) Ce document décrit un nouveau modèle spatial qui a été élaboré pour mieux refléter le raisonnement de l'être humain et pour résoudre certains problèmes rencontrés par les systèmes d'information géographiques contemporains. Plusieurs applications militaires en commandement et contrôle peuvent ainsi améliorer leur capacité d'analyse spatiale en utilisant le nouveau modèle. Ce modèle est basé sur la notion de zone d'influence que l'être humain construit mentalement et systématiquement autour des objets qu'il perçoit dans son environnement afin de tenir compte des objets les plus saillants et de leur importance relative. Le modèle proposé définit qualitativement les relations topologiques et spatiales, incluant la distance, l'orientation et le voisinage. De plus, il permet à l'usager d'interagir avec le système sous une forme de communication s'inspirant de celle de l'être humain. Ce document décrit aussi une mise en oeuvre du modèle proposé dans le cadre de la recherche et de la description d'itinéraires à l'aide du modèle proposé dans le cadre de la recherche et de la description d'itinéraires à l'aide du modèle proposé dans le cadre de la recherche et de la description d'itinéraires à l'aide du prototype QSS (Qualitative Spatial System). Finalement, il passe en revue certaines applications militaires de commandement et contrôle qui pourraient tirer avantage de ce modèle.

14. KEYWORDS, DESCRIPTORS or IDENTIFIERS (technically meaningful terms or short phrases that characterize a document and could be helpful in cataloguing the document. They should be selected so that no security classification is required. Identifiers, such as equipment model designation, trade name, military project code name, geographic location may also be included. If possible keywords should be selected from a published thesaurus, e.g. Thesaurus of Engineering and Scientific Terms (TEST) and that thesaurus-identified. If it is not possible to select indexing terms which are Unclassified, the classification of each should be indicated as with the title.)

Spatial Models / Modèles spatiaux

Spatial Reasoning / Raisonnement spatial

Geographical Information Systems / Systèmes d'information géographique

Spatial Cognition / Cognition spatiale

Multiagent System / Système multiagent

Command and Control Military Applications / Applications militaires de commandement et contrôle

#514941

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF FORM
(Highest Classification of Title, Abstract, Keywords)